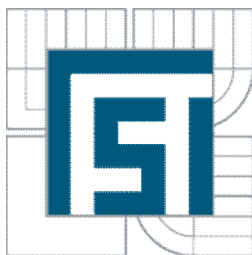


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ŠTROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

ÚDRŽBA LETADEL
AIRCRAFT MAINTENANCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

NHU BINH PHUNG

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JINDŘICH FINDA. Ph.D

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE

student(ka): Nhu Binh Phung

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Reditel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Údržba letadel

v anglickém jazyce:

Aircraft Maintenance

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Charakteristika používaných metod údržby letadel v kategoriích UL, CS-22, CS-23, CS-25. Požadavky evropských předpisů pro údržbu letadel vydávaných úřadem EASA. Přehled a využití nedestruktivních metod kontroly konstrukčních prvků a částí letadel.

Cíle bakalářské práce:

Shrnutí současného stavu v problematice údržby letadel jednotlivých kategorií. Uvést charakteristiku a aplikovatelnost nedestruktivních metod kontroly při údržbě letadel.

Seznam odborné literatury:

[1] KRÁL, Miroslav. Provoz a údržba letecké techniky. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1985.

Skripta.

[2] KRÁL, Miroslav. Provoz a údržba letecké techniky II. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1987.

Skripta.

[3] FRIEND, C.H. Maintenance Management. Longman Scientific and Technical. 1992.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jindřich Finda .Ph.D

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.
Reditel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Dekan fakulty

Klíčová slova:

Údržba, letadlová technika, EASA, FAR, systém, (soustavy), konstrukce

Key Words:

Maintenance, aircraft, EASA, FAR, systems, structures

Anotace:

Tato práce je shrnutím dosavadních znalostí dané problematiky a zhodnocením aktuálního stavu v procesu tvorby plánu údržby malého dopravního letounu i uvést charakteristiku a aplikovatelnost nedestruktivních metod kontroly při údržbě letadel.

Annotation:

This thesis is summarized knowledge the problems and evaluation of current status in process plan in maintenance of small transport aircraft. State characteristics and applicability to non-destructive inspection methods in the maintenance of aircraft

Bibliografická citace:

NhuBinh, Phung. *Údržba letadel. Bakalářské práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. Vedoucí práce. Ing. Jindřich Finda.Ph.D

P r o h l á š e n í:

„Prohlašuji“ že svou diplomovou práci na téma Údržba latadel jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny v práci řádně citovány a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob a jsem si plně vědoma následků porušení ustavení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/200 Sb.

V Brně dne :

Podpis:

Obsah

- 1. Úvod**
- 2. Současný stav řešené problematiky**
 - 2.1 Rozdělení metod údržby**
 - 2.1.1 Tradiční metoda údržby(hard time)**
 - 2.1.2 Progresivní metoda údržby**
 - 2.2 Evropské předpisy pro údržbu EASA**
 - 2.3 Ultralehké letouny řízené aerodynamicky (UL)**
 - 2.4 Kluzáky a kategorie letadel Normal, Utility, Aerobatic a Commuter (CS-23,CS-23)**
 - 2.4.1 Životnost letadla**
 - 2.4.2 Program plánovaných prohlídek a údržby**
 - 2.5 Kategorie transportních (dopravních) letadel (CS-25)**
 - 2.5.1 Damage tolerance**
 - 2.5.2 Program plánovaných údržby**
 - 2.5.3 Implementace programu údržby**
- 3. Nedestruktivní metody kontroly (NDI).**
 - 3.1. Metody pro zjišťování povrchových a těsně podpovrchových vad**
 - 3.1.1. Vizuální metoda**
 - 3.1.2. Kapilární metoda**
 - 3.1.3. Magnetická metoda**
 - 3.1.4. Potenciometrická metoda**
 - 3.2. Metody pro zjišťování vnitřních vad**
 - 3.2.1. Ultrazvuková metoda**
 - 3.2.1.1. Rezonanční**
 - 3.2.1.2. Průchodová**
 - 3.2.1.3. Odrazová**
 - 3.2.1.4. Metoda akustické emise**
 - 3.2.2 Prozařovací metoda**
- 4. Závěr**
- 5. Seznam použitých zdrojů**
- 6. Seznam použitých obrázků**
- 7. Seznam použitých zkratk a symbolů**

1.Úvod

Údržba je svázána s letectvím již od prvopočátku, kdy se první aviatci snažili o první lety na strojních těžších vzduchu. Tato historická letadla nevynikala spolehlivostí a bezpečností, proto údržba a předletová kontrola byla jedním z mála prostředků pro minimalizaci rizika.

V období první světové války začala letadla plnit úkoly (stíhací, pozorovací, bombardovací,...) bylo proto nutno zajistit letuschopnost a pohotovost zejména pomocí údržby.

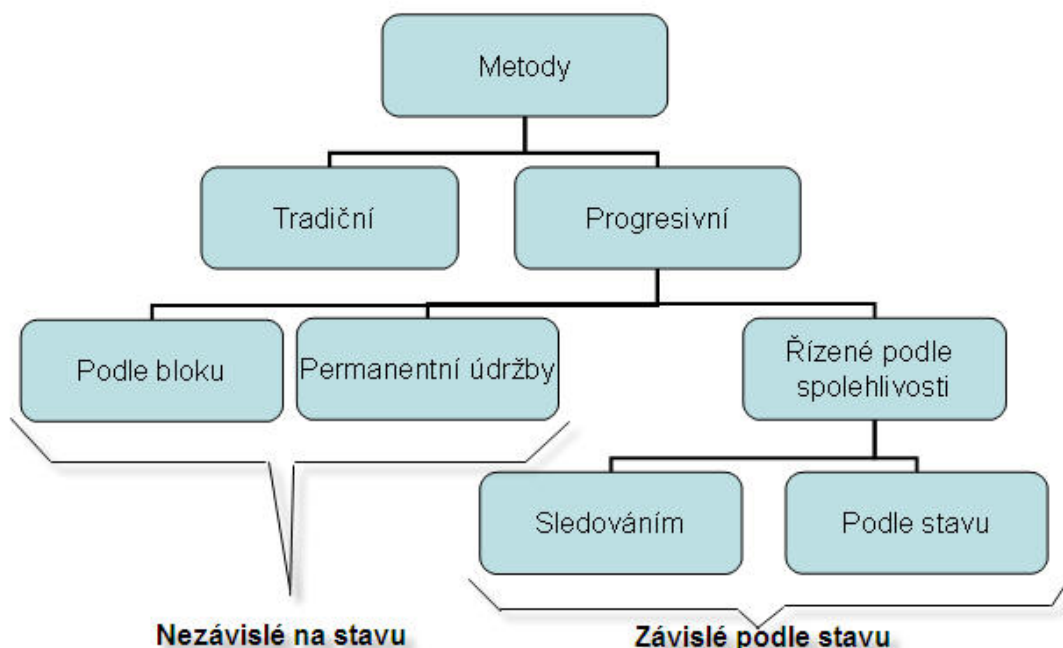
V meziválečném období se začíná rozvíjet civilní letecká doprava. Letadla jsou větší a složitější, zvyšuje se počet přepravovaných osob a hmotnost nákladů, létá se na větší vzdálenosti. To vede k mnohem vyšším nárokům na spolehlivost a bezpečnost. Plány údržby se stávají propracovanější, požadavky na údržbu se promítají do předpisů pro leteckou dopravu.

Po druhé světové válce nastává prudký rozvoj letecké dopravy. Objevují se první proudová letadla, která létají na transkontinentálních linkách. Požadavky na údržbu stále vzrůstají, což se projevuje vzrůstem nákladů a časové náročnost.

Údržba letadlové techniky je současné době rozsáhlou problematikou. Nelze stanovit jednoznačné rozčlenění této oblasti. Program prohlídek a údržbářských prací je silně závislý na typu letadla a kategorii, jeho náročnosti na údržbu, složitosti, zvolené výrobní technologii, podmínkách provozu, na filozofii návrhu z hlediska únavy, nutnosti kontrol systémů z důvodu dodržení spolehlivosti. Obecně platí, že se vzrůstající snahou o zvyšování provozní spolehlivosti rostou i náklady na údržbu, což vede ke snaze o optimalizaci údržbářských kroků z hlediska nákladů a časových prodlev při zachování spolehlivosti a bezpečnosti provozu letadla. Tento trend je podporován i stále větším vytížením letadel v civilní letecké dopravě. V současné době se rozvíjí snaha o aplikaci diagnostických a automatizačních systémů pro údržbu.

2.Současný stav řešení problematiky

2.1 Rozdělení metod údržby



Obr.2.1 Rozdělení metod údržby

Metody nezávislé na stavu.

Metody nezávislé na stavu jsou periodicky se opakující práce prováděné dle pevně stanovených intervalů provozu letadla. Vyznačují se nízkou účinností prevence (nedocení skutečného stavu, stupně provozního zatížení a opotřebení), subjektivním posouzením stavu, vysokými náklady, pracností a dobou prostojů.

Používají se dnes u letadlových celků, u nichž se prokázala jejich opodstatněnost (opotřebení v závislosti na čase: hadice, lana, těsnění, pneumatiky, u celků, kde nelze aplikovat jiné metody).

Metody závislé na stavu

Metody závislé na stavu jsou řízené spolehlivostí. Vycházejí ze skutečného poznání vlastností a chování součástí během provozu. Umožňují plynule kontrolovat stav systémů a zasahovat jen tam, kde je potřeba. Využívají závěry statistických rozborů, teorie spolehlivosti a diagnostických systémů. Teorie spolehlivosti zkoumá zákonitosti mechanismu vzniku poruch při respektování vlivu podmínek provozu. Techniká diagnostika analyzuje stav technických objektů dle charakteristických příznaků kvantitativně i kvalitativně metodami a prostředky objektivní kontroly. Základním předpokladem je

používání systémů pro registraci stavu, diagnostiky a prognostiky. Určité poruchy jsou přípustné pro letový provoz letounu. Musí se proto posoudit závažnost poruchy. Tyto metody jsou rozšířením filozofie damage-tolerance pro konstrukce draku. Tato problematika má souvislost s problematikou údržby řízené spolehlivostí (rozhoduje se o plánování údržbářských činností).

2.1.1 Tradiční metoda údržby(hard time)

Vznikla v období nízké úrovně údržby. Nelze zaznamenat žádné pokrokové tendence. Proces údržby je rozdělen do pevně stanovených časových intervalů, periodicky se opakujících s narůstajícím rozsahem. Nedostatky metody jsou vynucené prostoje, narušování plánování letů, nedocnění zákonitostí vzniku poruch, jejich časového rozložení neodpovídajícího pevným intervalům prohlídek. Dnes se používá z důvodu nenáročnosti kontrolní činností. Součásti jsou vyměňovány po dovršení technického života (předepsané hodiny, cykly).

2.1.2 Progresivní metoda údržby

Metody údržby podle bloků

Blok je celistvý funkční celek, který lze z letadla demontovat a samostatně funkčně přezkoušet. Blok může být dále rozebíratelný na jednotlivé součástky opravitelné nebo neopravitelné.

Předpoklady pro zavedení metody:

- Konstrukční rozdělení letadla na bloky dle účelových skupin (motor, křídlo, trup, atd.) nebo dle skupin agregátů (hydraulická čerpadla, palivový regulátor, klimatizace, atd.)
- Konstrukčně technologická způsobilost letadla k opravě po blocích z hlediska výrobně konstrukčního sjednocování více funkcí do jednoho celku, decentralizace rozmisťování bloků v draku, technický život bloků je obvykle nižší než u draku nebo hlediska provozně technologického (dostupnost míst pro kontrolu, snadná vyměnitelnost, použitelnost a univerzálnost kontrolně měřicí techniky a úroveň unifikace normalizace)

Funkční bloky se demontují z letadla zpravidla až při vyšších stupních údržbových prací. V provozu se demontují po dosažení hranice technického života a jsou odeslány na generální opravu nebo po poruše. Výhodou je snížení prostoje letadla při údržbě, prodlužuje se doba mezi generálními opravami bez snížení spolehlivosti. Nedostatkem metody je při neznalosti spolehlivostních parametrů a nízké úrovni diagnostiky demontaž, prozkoušení i funkčních bloků, což je neefektivní a zvyšuje se možnost poruchy při chybné montáži. Další nevýhodou je finanční náročnost (nutnost mít k dispozici náhradní bloky).

Metody permanentní údržby

Základem permanentní (nepřerušované) údržby je rozvržení procesem generální opravy do několika menších, přitom ale uzavřených dílčích činností, jež jsou

pak přiřazený k pevně stanoveným pracím periodické údržby. Hlavní předností je možnost zkracovat prostoje tím, že se rozsáhlé a přitom nezávislé údržbové práce provádí průběžně, tím vytváří přepoklady pro rovnoměrné pracovní zatížení obsluhy. Využívá se především u dopravních letadel. Nedostatkem je nutnost mít kvalifikovaný personál údržby, vybavení pro provádění i oprav (generální opravy).

Metoda údržby dle stavu (on condition)

Metoda údržby dle stavu je periodickým zjišťování stavu letadlových celků pomocí kontrolních přístrojů nebo zařízení. Každý technický stav objektu je charakterizován určitými příznaky, které lze vyjádřit kvantitativně nebo kvalitativně. Kvantitativně vymezené parametry představují (otáčky, teploty, tlaky), které se porovnávají s předepsanými hodnotami. Výhody metody jsou ekonomičnost, menší pracnost kontrol, není nutná vysoká technická úroveň personálu, zkrácení prostojů, úspora materiálu a náhradních dílů, je možno statisticky vyhodnocovat spolehlivost a je efektivnější. Nedostatkem je nutnost vybavit letadla diagnostickými a záznamovými zařízeními, čímž roste cena letadla.

Metoda sledování stavu (Condition Monitoring)

Metoda je založena na kontrole technického stavu sledovaného objektu v pravidelných intervalech během provozu letadla, přičemž se předpokládá, že změny stavu objektu bude možno včas podchytit a tak předejít možnosti vzniku kritických poruch za letu. To klade vysoké nároky na kontrolní monitorovací systém. Využívají se znalosti o průběhu charakteristických změn parametrů u sledovaného technického objektu během provozu, z čeho plyne: preventivní výměna objektu by byla neekonomická, riziko poruchy je minimální, vznik náhlé poruchy nezpůsobí katastrofu letadla. Používá se zálohování letadlových cleků (systémů) HM-systémy musí objektivně a včas informovat osádku o místě a charakteru změny stavu.

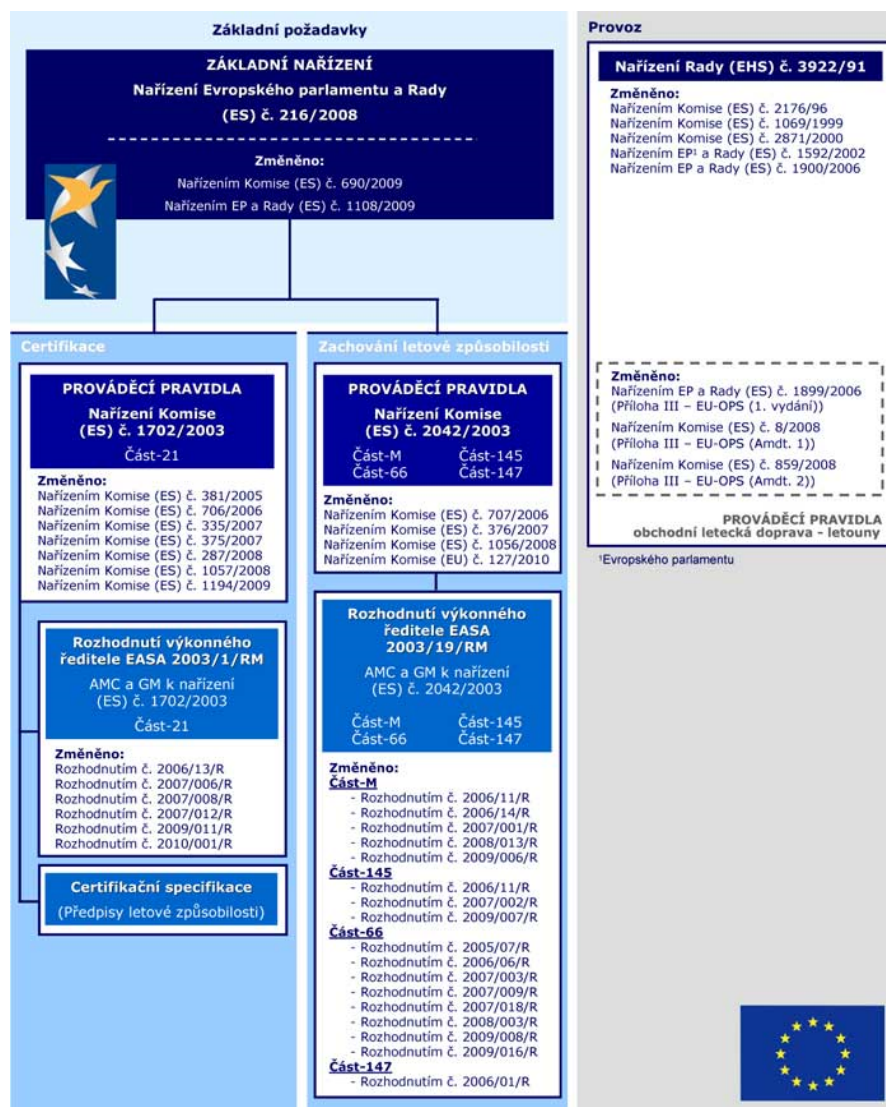
2.2 Evropské předpisy pro údržbu EASA

První oblastí činností, kterou se EASA zabývá od svého vzniku, je oblast certifikace, údržby a letové způsobilosti letadel pokrytá vydáním nařízení Komise (ES) č. 1702/2003 ze dne 24. září 2003 a oblast zachování letové způsobilosti letadel a leteckých výrobků, letadlových částí a zařízení a schvalování organizací a personálu zapojených do těchto úkolů pokrytá vydáním nařízení Komise (ES) č. 2042/2003 ze dne 20. listopadu 2003.

Nařízení **Komise č. 2042/2003** pro zachování letové způsobilosti a letec. Výrobků, letadlových částí a zařízení a schvalování organizací a personálu zapojených do těchto úkolů, obsahuje prováděcí pravidla jako společné technické požadavky a administrativní (správní) postupy (administrative procedures).

- Část M- Požadavky pro zachování letové způsobilosti založena na JAR-OPS 1. Hlava M pro obchodní leteckou dopravu a JAR M pro neobchodní leteckou dopravu.

- Část 145- Schválně organizací pro údržbu založena na JAR-145. Část 145 obsahuje rovněž prvky z JAR 66, které jsou spojené s právy pro osvědčování v prostředí JAR 145 a nebyly přemístěny do Části 66.
- Část 66- Osvědčující personál údržby založena na JAR-66. Pro letouny a vrtulníky s MTOM 5700 kg nebo více. Doplněno pro letouny a vrtulníky s menší MTOM než 5700.
- Část 147- Požadavky na organizace pro výcvik personálu údržby založena na JAR 147



Obr. 2.2 Schéma evropské legislativy a základních dokumentů EASA

2.3 Ultralehké letouny řízené aerodynamicky (UL)

Pro ultralehké letouny řízené aerodynamicky jsou požadavky pro údržbu zjednodušeny v předpisu UL 2-1.část: požadavky letové způsobilosti SLZ Ultralehké letouny řízené aerodynamicky (údržba základních částí musí být uvedena v letové příručce).

2.4 Kluzáky a kategorie letadel Normal, Utility, Aerobatic a Commuter (CS-22,CS-23)

Tato část se zabývá údržbou pro vádění na letadlech navrhovaných dle předpisu CS-22, CS-23, FAR-23. U většiny těchto letadel je zvolena filozofie přístupu k únavě **safe-life** z důvodu provozních, vývojových nákladů a jednoduchosti údržby. Vzhledem ke konstrukční jednoduchosti a menší složitosti jednotlivých systémů letadla této kategorie je údržba prováděna v pevně stanovených intervalech (**hard time**)

2.4.1 Životnost letadla

Životnost letadla je závislá na životnost hlavních jeho částí (drak, motor, vrtule, přistávacího zařízení,...).Životnost motoru a vrtule je předepsána výrobcem. Životnost draku a přistávacího zařízení je závislá na zvolené filozofii z hlediska únavy (Safe-Life, damage tolerance) Pro tuto kategorii je stále typická filozofie safe-life s předem stanovenými únavovými cykly.Tyto vypočtené hodnoty se ověřují zkouškami. Mohou být i upraveny díky zkušenostem z provozu. Životnost ovlivňuje způsob provozu, prostředí atd. Životnost je vyjádřena letovými hodinami, cykly a časovým údajem pro části podléhající degradačním procesům v závislosti na čase. Safe-Life, tato koncepce je vhodná pro malá letadla vzhledem k nižší finanční a provozní náročností.

2.4.2 Program plánovaných prohlídek a údržby

Program plánovaných prohlídek je závislý na typu a složitosti letadla, na podmínkách ve kterých je provozováno. Je založen na sledování počtu letových hodin, cyklů provozu a kalendářní době. Kaledární doba každého letounu začíná datem vydání původního osvědčení o letové způsobilosti, znamenáné letadlové knize letounu.

Můžeme program plánovaných prohlídek dělit na:

- Denní ošetření letounu
- Periodické prohlídky
- Generální opravy

Denní údržba je v podstatě nejběžnější a nejdůležitější formou operativní technické údržby. Do tohoto komplexu je možné počítat:

- **Předletovou prohlídku**

- **Meziletovou prohlídku**
- **Poletovou prohlídku**

Předletová prohlídka se provádí před provedením prvního letu každého letového dne a jde v podstatě o prověrku těch systémů a částí letadla, které jsou z hlediska letové způsobilosti nejdůležitější. Předletová prohlídka bývá často zpracována výrobcem a je součástí průvodní dokumentace letounu. Důležitou součástí předletové prohlídky je i kontrola úplnosti palubní dokumentace a vedení záznamů, ověření pohonné jednotky motorovou zkouškou. Nakonec potom musí osoba k tomu oprávněná provést zápis o výsledku předletové prohlídky.

Meziletovou prohlídku je ošetření, které se provádí na odbavovací ploše (stojánce). Svým rozsahem je to nejnižší stupeň ošetření letadla. Provádí se mezi jednotlivými lety. Hlavním úkolem je zběžná vizuální kontrola stavu letadla, která bývá spojena s doplňováním pohonných hmot.

Poletovou prohlídku se provádí po ukočení posledního letu na závěr letového dne. Zpravidla se přitom čistí povrch letounu, provádí se kontrola všech částí letadla, zjišťují se závady, vzniklé letovým provozem letounu.

Důležitou součástí této prohlídky je zjištění spotřeby pohonných a provozních hmot, což může ukazovat na správnou nebo nesprávnou funkci systémů. Pro provádění jednotlivých prohlídek denní údržby je každému letadlu stanoven určitý postup, který je nutno zachovávat.

2.5 Kategorie transportních (dopravních) letadel (CS-25)

Pro tuto kategorii je typický přístup k únavě **damage tolerance** a metody údržby **on-condition**, **condition monitoring**. V posledních letech se klade zvýšený důraz na využití těchto datových systémů ve spojení se senzory pro pracování dat získaných při monitorování stavu letadla během letu health monitoring (HM)

2.5.1 Damage tolerance

Damage tolerance je v současné době využívána pro velká dopravní letadla. Její výhodou je prodloužení života konstrukce a tím i lepší finanční návratnost zakoupeného letadla. Hlavním rozdílem proti přístupu Safe-Life je to, že s výskytem trhliny, poruch a jejich šířením v konstrukci se počítá.

Damage tolerance lze rozdělit

- Slow Crack Growth - konstrukce s pomalým šířením trhlin
- Fail Safe - konstrukce bezpečné při poruše

Konstrukce Slow Crack Growth má za úkol odhalovat trhliny a sledovat jejich šíření. Pro trhliny je stanovena detekovatelná velikost, kritická velikost trhliny a rychlost šíření trhliny mezi nimi. Při překročení kritické velikosti trhliny se porucha šíří nestabilně a vede k poruše nosné konstrukce.

Konstrukce Fail Safe dokáže přenést zatížení i po poruše díky násobení cest přenosu zatížení, využití zastavovačů šíření trhliny a zpomalení růstu trhliny.

2.5.2 Program údržby provozovatelů letadel

Provozovatelé uplatňují programy údržby a preventivní údržby nejen kvůli dodržování předpisů či splnění požadavků úřadů, ale také z důvodu maximalizace provozuschopnosti jednotlivých letadel a zabránění velkým finančním investicím do letadel a vybavení.

Cílem efektivní údržby je dodržení následujících zásad:

- Zabezpečení výše bezpečnosti a životnosti součástí.
- Obnova bezpečnosti a spolehlivosti součástí, jestliže nastane její zhoršení.
- Získání informací důležitých pro zlepšení součástí s nedostatečnou spolehlivostí.

FAR Part 21 vyžaduje od výrobců kompletní pokyny pro pokračující provoz. Doplnkem je FAR Part 121 (pro velká dopravní letadla) obsahující požadavky na údržbu, prohlídky a změny.

Požadavky na využití letadel se v posledních letech zvyšují. Dnes je možno provozovat letadlo i 16 h denně. Nejvíce provozovaná letadla nalétají i 6000 h za rok, což vede k zkracující časové intervaly pro údržbu.

Vývoj programů údržby (Maintenance Program Development)

Údržbářské programy pro pokračující provoz jsou rozvíjeny provozovateli letadel a schvalovány leteckými úřady příslušných států (FAA). Základními částmi údržbářského programu pro pokračujícího provoz jsou:

- Prohlídky letadel, včetně běžných prohlídek, údržby a zkoušek prováděných na letadle v předepsaných časových intervalech.
- Plánovaná údržba (např. údržbářské úkoly prováděné v daných intervalech), včetně výměn částí s omezenou životností, díly vyžadující výměnu při periodických opravách, speciální prohlídky, kontroly a zkoušky částí opravované v závislosti na jejich stavu a mazání v daných místech.
- Neplánovaná údržba (např. údržba částí, jejichž porucha byla zjištěna při plánované údržbě hlášením od pilota, chybovou analýzou nebo dalšími poruch vyžadujícími opravu).
- Opravy a generálky motoru, vrtule zařízení.
- Programy prohlídek a generálky konstrukce draku.
- Nutné nástroje pro prohlídky.
- Manuál pro údržbu, kde je definován program údržby pro pokračující provoz

Provozovatelné navrhli počáteční údržbářské úkoly pro nová letadla založené na detailní analýze. Každý hlavní podsystém u daného typu letounu je

posuzován Air Transport Association (ATA) Maintenance Steering Group- 3 Task Force (MSG-3) v 1980.

Program údržby MSG

Provozovatelné navrhli počáteční údržbářské úkoly pro nová letadla založené na detailní analýze. Každý hlavní podsystém u daného typu letounu je posuzován Air Transport Association (ATA) Maintenance Steering Group- 3 Task Force (MSG-3) v 1980.

MSG-3 poskytuje návod pro analýzu systémů a pohonných jednotek, analýzu konstrukce, zonální analýzu a lightning/high intensity radiated field (L/HIRF). Úkony plánované údržby tvoří základ pro prvotní údržbářský plán letadla, který může být vytvořen provozovatelem na základě zkušeností. Největší pole působnosti má MSG-3 pro údržbářské postupy vyžadující jednoduché nástroje a vybavení.

První generace programů údržby provozovatelů byla založena na předpokladu, že každá funkční součást se musí demontovat v určitém časové intervalu z důvodu prohlídky. To vedlo k implementaci hard time-údržbářského programu. Jednotlivé díly jsou vyměněny po dosažení určitých stanovených provozních parametrů

Na většině leteckých dílů se neprojeví opotřebení z důvodu dlouhodobého provozu, které by vedlo k hard time- údržbě. Základní model spolehlivosti pro celé systémy letadel je v hodnocení četnosti vzniklých poruch a jejich následků. Výměna každé části v předepsaném čase je neefektivní, protože reálná životnost dílů není vyčerpána. To vedlo k programům údržby prováděné dle stavu součástí (on-condition), kde periodické prohlídky, měření, zkoušky slouží ke stanovení stavu součásti bez její demontáže, prohlídek, a revizí.

Představitelé průmyslu a úřadů vyvinuli metody pro stanovení požadavků programu údržby dodržením intenzity poruch součástí a jejich údržby pro danou hladinu spolehlivosti. To vedlo k použití monitorování stavu součástí (condition monitoring). Provoz součástí je monitorován a analyzován, ale prohlídky a opravy nejsou pevně stanoveny.

Programy údržby provozovatelů obsahují všechny přístupy. Kroky údržby jsou vyvíjeny a aplikovány na jednotlivé díly výrobcí dle detailní analýzy chování součástí, potenciálních módů poruch a spolehlivosti podobných součástí v provozu.

2.5.3 Implementace programu údržby

Při stanovení postupy a intervaly údržby, provozovatelé musí rozpracovat implementační plán pro jejich podmínky. Jednotlivé kroky údržby jsou slučovány pro minimalizaci časových prostojů.

Používá se několik přístupů implementace prohlídek a intervalů údržby, které dodržují doporučení výrobců. Příklady:

- Blokové programy (Block Programs) letadlo je rozděleno na oblasti prohlídek (zóny) nebo systémy a všechny A-level nebo C-level kontroly jsou provedeny při daných prohlídkách v této zóně.

- Segmentové program (Segmented programs) každý interval je rozdělen na podintervaly. Např., místo A-check po 4000 h, provozatel může provádět 4 menší kontroly po 1000, 2000, 3000 a 4000 h.
- Fázové programy (Phased programs) jsou podobné segmentovým programům, ale A-level kontrola je provedena s B-level pro vyšší stupně kontrol.

Systém logiky údržby

Prvním krokem je vybrání MSIs (Maintenance Significant Items), což jsou důležité části systémů či pohonných jednotek z hlediska údržby. Zde se mimo jiné uvádí funkce daného MSI.

V dalším kroku jsou MSIs podrobeny otázkám, které se týkají vlivu poruchy daného MSI na bezpečnost, její detekovatelnost, provoz a ekonomii. V případě kladné odpovědi alespoň na jednu z těchto otázek, je nutné aplikovat na MSI analýzu MSG-3.

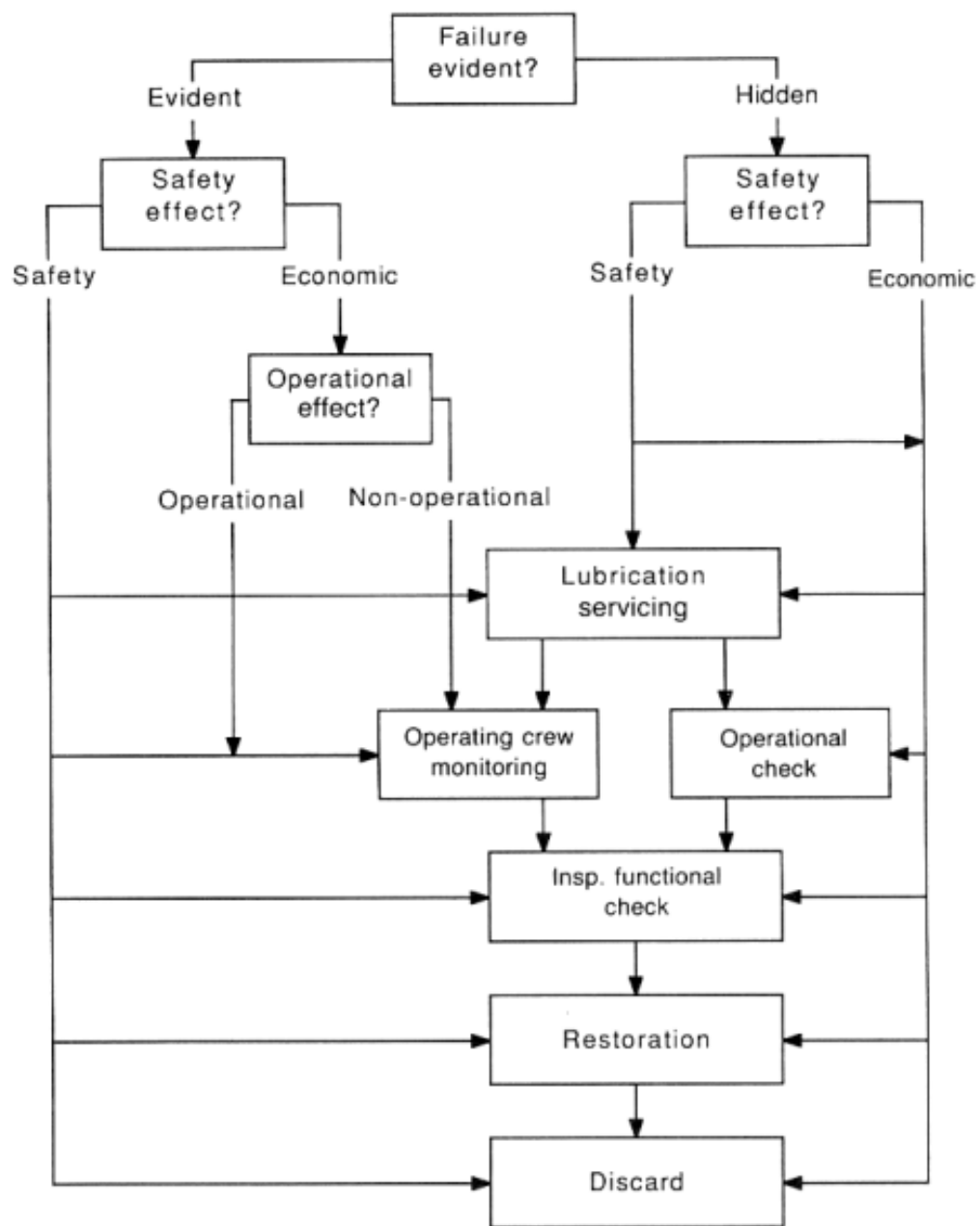
Následující krok se vztahuje na poruchy, které jsou přiřazeny ke konkrétnímu MSI. Pro danou poruchu se doplní příčina a důsledek poruchy.

- MSG-3 LEVEL 1 je dalším krokem. Je posouzením důsledku poruchy MSI: Evident Safety, Evident Operational, Evident Economic, Hidden Safety, Hidden Economic. Posouzení se děje na základě logického přístupu.
- MSG-3 LEVEL 2 je přiřazením údržbářských úkolů opět na základě logického přístupu s ohledem na důsledek poruchy zvolený v kroku MSG-3 LEVEL 1.
-

Údržbářské úkoly jsou: Lubrication servicing, Operational visual, Inspection functional check, Restoration a Discard.

V posledním kroku je údržbářskému úkoly přiřazen konkrétní údržbářský zásah. Perioda je stanoven s ohledem na důsledek poruchy daného MSI, na doporučení výrobce, zkušeností s provezem v obdobném typu letadla, případně je stanovena na základě spolehlivostních analýz a zkoušek. Je zde přiřazeno i jeho případné začlenění do plánu zonálních prohlídek.

Výstupem je report obsahující seznam údržbářských činností pro systémy a pohonné jednotky a jejich intervaly. Tento report je využit pro vytvoření plánu údržby pro daný letoun.



Obr. 2.3 Jednoduchý logický diagram pro údržbářské úkoly součástí systémů

3. Nedestruktivní metody kontroly (NDI).

3.1 Metody pro zjišťování povrchových a těsně podpovrchových vad

Zkoušky povrchové jsou speciálním druhem nedestruktivního zkoušení materiálu, který umožňuje zjišťování jednotlivých necelistvostí výhradně v povrchových vrstvách zkoušeného materiálu, jsou to zejména nejrozličnější trhliny vystupující na povrch kontrolovaného výrobku, které jsou poměrně často se vyskytujícím a přitom velmi závažným typem materiálových defektů

3.1.1 Vizuální metoda

Vizuální metoda patří svým zaměřením mezi základní a nejjednodušší nedestruktivní kontroly, zjišťující možné povrchové vady (necelistvosti) zkoušeného výrobku. Lze ji aplikovat na jakékoliv materiály. Podmínkou je, že vada musí vystupovat na povrch výrobku

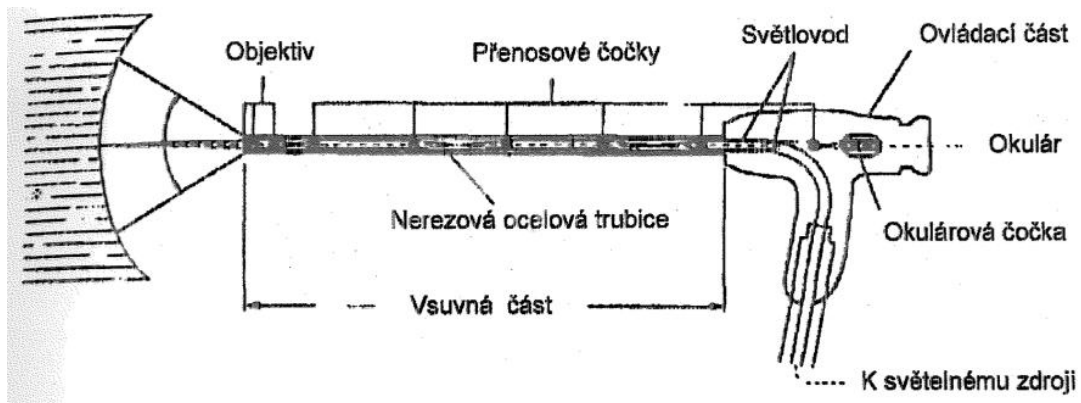
Rozděluje se na dvě základní skupiny:

- Přímá vizuální kontrola je taková, při níž se přístupný zkoušený povrch výrobku prohlíží přímo pouhým okem nebo za pomoci zvětšovací lupy či mikroskopu o malém zvětšení
- Nepřímá kontrola se používá především v těch místech zkoušeného povrchu, která nejsou jednoduše dostupná, buď z důvodu složité geometrie daného výrobku nebo pro možnost ohrožení zdraví kontrolujících pracovníků.

Nepřímá kontrola můžeme rozdělit:

Tuhé endoskopy

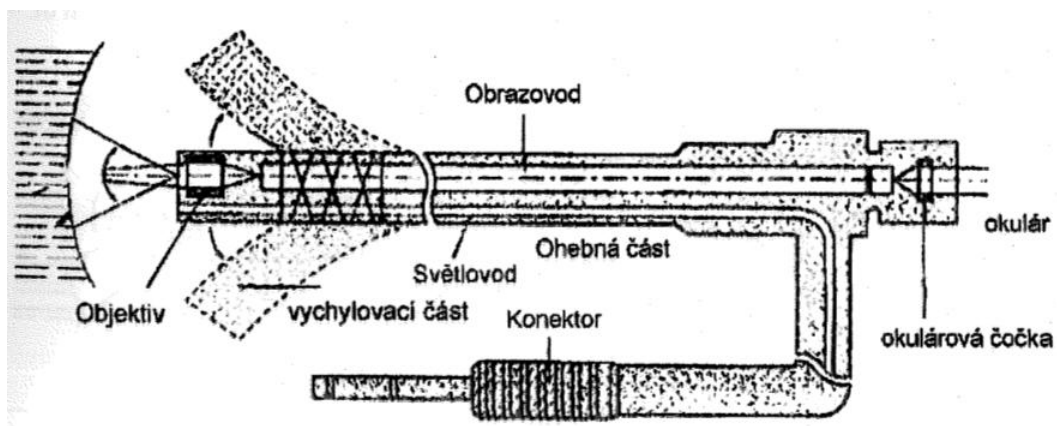
Tuhé endoskopy (boroskopy) jsou optické přístroje tvořeny tuhou trubicí, která je vybavena světlovodovým materiálem, který vede světlo od externího světelného zdroje až k jednomu jeho mikroskopu se obrazem okolního prostředí přenáší nazpět. Jejich účelem je opticky zvětšit obraz detailu přemětu, který nemůže být pozorován pouhým okem a umožnit jednoduchou, časově nenáročnou diagnózu při výskytu mnoha problémů v oblasti servisu i běžné údržby



Obr. 3.1 Pevný endoskop

Ohebné endoskopy

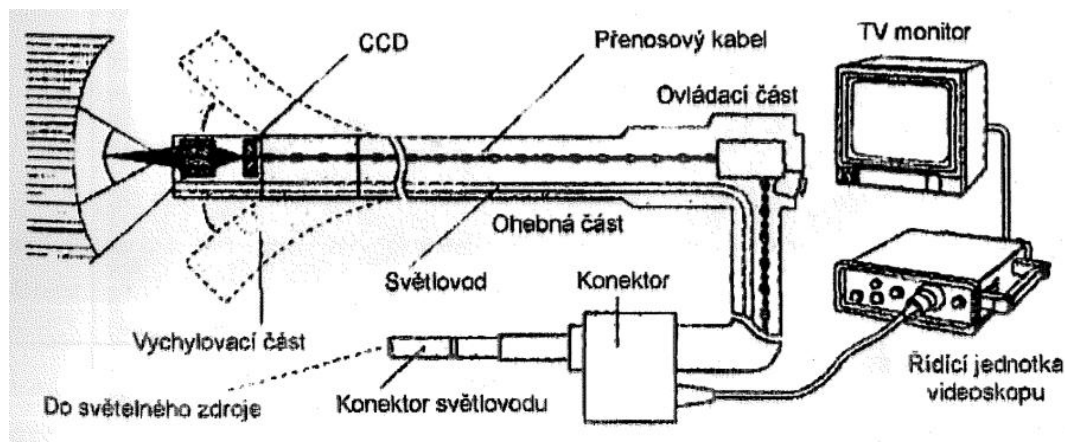
Ohebné endoskopy (fibroskopy) jsou podobné endoskopům pevným. Jejich konstrukce je však podstatně složitější. Samotné těleso není tvořeno trubicí, ale svazkem skleněných světlovodných vláken. Díky ohebnosti inspekční trubice dovoluje provádět kontrolu v místech pro tuhé endoskop nedostupných.



Obr. 3.2 Ohebný endoskop

Videoskopy

Videoskopy se svojí konstrukcí velmi podobají ohebným endoskopům. Rozdíl je v tom, že videoskopy používají pro snímání obrazu kontrolované oblasti miniaturní CCD kameru umístěnou na jeho konci. Jeho uplatnění se nachází tam, kde je zapotřebí využít vlastností ohebných endoskopů (nepřístupné oblasti) s cílem získání požadovaného obrazu v nejvyšší možné kvalitě rozlišení a barevné věrnosti.



Obr. 3.3 Schéma videoskopu

Vizuální metoda je základní a velmi důležitou nedestruktivní kontrolou, která se používá pro kontrolu stavu letecké techniky. Lze ji s výhodou použít na všech stupních údržby. Metoda není složitá a neklade vysoké nároky na vyškolení personálu provádějícího kontrolu. Jsou to nejčastěji lupy a různé typy endoskopických přístrojů. Vizuální metoda používá pro bezdemontážní kontrolní prohlídku leteckých motorů.

3.1.2 Kapilární metody

Kapilární metody jsou samostatným oborem nedestruktivních zkoušek materiálu. Využívají charakteristických vlastností kapalin, tzn. kapilárních jevů. Mezi tyto jevy patří povrchové napětí, viskozita, krajový úhel, kapilární elevace a kapilární tlak. Použitím těchto metod nelze zjistit vnitřní vady, které nevystupují na povrch kontrolovaného výrobku.

Hlavní předností kapilární metody je její principiální a aplikační jednoduchost. Citlivost metody je vysoká a umožňuje zjišťovat povrchové nečistoty bez ohledu na jejich umístění a orientaci. Další předností je, že používané přípravky nejsou cenově náročné a metodu lze kdykoliv velmi rychle použít.

Obecný postup provádění kapilární zkoušky:

- **Příprava povrchu zkoušené součásti:**

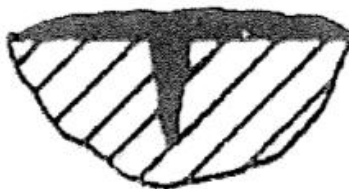
Podmínkou pro úspěšné použití metody je čistý, odmaštěný povrch, který nesmí obsahovat žádné nečistoty. Zároveň je zapotřebí odstranit nečistoty i z možných nečistot, aby do nich mohla spolehlivě proniknout detekční kapalina.



Obr. 3.4 Očištěný povrch výrobku s trhlinou

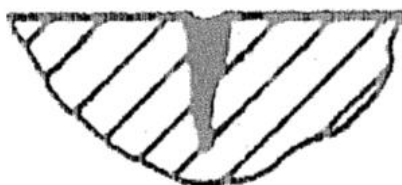
- **Nanesení detekční kapaliny**

Na očištěný povrch se nanese detekční kapalina. Je potřeba, aby tvořila rovnoměrný film. Poté kapalina postupně proniká do možných nečelivostí na povrchu výrobku.



Obr. 3.5 Nanesení detekční kapaliny na povrch výrobku

- **Odstranění přebytečné detekční kapaliny z povrchu kontrolovaného výrobku**



Obr. 3.6 Odstranění přebytečné detekční kapaliny

Po uplynutí času potřebného k penetraci, je nutné přebytečnou detekční tekutinu odstranit z povrchu výrobku. Tento proces se nazývá mezičištění.

- **Kontrola součastí a hodnocení indikace**

Při tomto procesu se na povrchu výrobku nanese barevně kontrastní látka tzv. vývojka, která má za účel vyvolat kontrastní indikace případných vad. Kontrola se obvykle zahajuje co nejdříve po nanesení vývojky na kontrolovaný povrch výrobku. Celkové hodnocení přítomnosti vad se provede až po uplynutí stanoveného penetračního času. Povrch se prohlíží pouhým okem nebo pomocí lupy se zvětšením 2-6x.

Kapilární metody rozdělujeme podle druhu použitých detekčních prostředků, a podle způsobu vyhodnocení vady na tyto základní skupiny:

- **Metoda barevné indikace**
- **Metoda fluorescenční**
- **Další metody**

Kapilární metoda je velmi častou defektoskopickou metodou, která je používána ke kontrole letecké techniky. Lze ji dobře použít na kovové i nekovové materiály. Podmínkou je, aby případná vada vystupovala až na povrch materiálu. Pomocí této metody se mohou kontrolovat různé části leteckých konstrukcí. Mezi tyto části patří například hlavní nosníky a nosné přepážky, hřídele, disky kol, výfuky a výstupní ústrojí a další vybrané části letecké konstrukce

3.1.3 Magnetická metoda

Magnetická metoda jsou založeny na indikaci rozptylového magnetického toku ve feromagnetických materiálech. Rozptylový magnetický tok vzniká v magnetovaném materiálu v místě výskytu necelistvosti-magnetické nehomogenity, jako důsledek zvýšeného magnetického odporu. Intenzita rozptylové toku závisí na velikosti, poloze a orientaci vady ke směru magnetujícího pole. Maximálních hodnot se dosahuje u vad spojených s povrchem a orientovaných kolmo na směr magnetického pole. Pomocí této metody se zjišťují především plošné vady (trhliny, praskliny, studené spoje) umístěné na povrchu nebo těsně pod povrchem kontrolovaného materiálu.

Způsoby magnetování

a) Pólové (podélné)

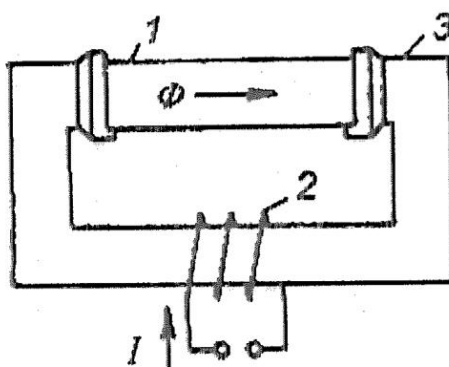
Kontrolovaný výrobek je umístěn mezi póly elektromagnetu. Na jeho koncích se vytvoří magnetické póly. Vytvářené magnetické pole je rozloženo ve směru podélné osy kontrolovaného předmětu. Takto se zjišťují příčné necelistvosti.

Pólové magnetování se rozděluje:

- **Magnetování jhem**
- **Magnetování cíkové**

Magnetování jhem

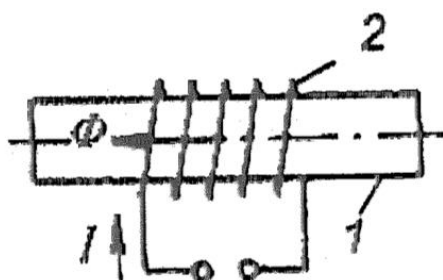
Je to zkušební postup, při němž je kontrolovaný předmět umístěn mezi póly magnetovacího jha a stává se částí magnetického obvodu. Magnetické pole prochází od jednoho pólu k druhému, předmět je podélně magnetován. Nevznikají při něm opaly, takže nedochází k poškození povrchu kontrolovaného výrobku.



Obr. 3.7 Schéma pólového magnetování jhem (1-kontrolovaný předmět, 2- magnetovací cívka, 3- magnetické jho)

Cívkové magnetování

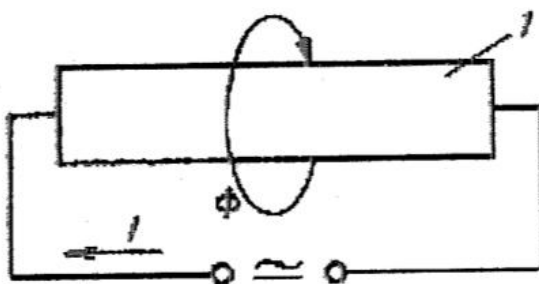
Při tomto způsobu magnetování je kontrolovaný předmět obklopen magnetovací cívkou, kterou protéká. Cívka může být napájena stejnosměrným, střídavým nebo impulsním proudem. Vzniklé magnetické pole má směr osy cívky. Předmět je magnetován podélně. Nevznikají při něm opaly a předmět se nadměrně neohřívá.



Obr. 3.8 Schéma podélného cívkové magnetování (1-kontrolovaný předmět, 2- magnetovací cívka)

b) Cirkulární (příčné, proudové)

Při tomto magnetování se využívá magnetických účinků elektrického proudu. Nevznikají magnetické póly, ze kterých magnetické siločáry z předmětu vystupují nebo do předmětu vstupují. Magnetické pole tvoří uzavřené dráhy, jejichž roviny jsou kolmé ke směru proudu. Proud obvykle protéká zkoušeným předmětem ve směru jeho podélné osy. Zjišťujeme jím podélné necelistvosti daného předmětu.



Obr. 3.9 Schéma magnetování průchodem proudu (1-kontrolovaný předmět, I- elektrický proud, Φ- magnetický tok)

Je to druh cirkulárního magnetování, při němž zkoušeným předmětem nebo jeho částí prochází elektrický proud přiváděný přiloženými elektrodami. Předmět je proudem příčně magnetován, takže jsou zjišťovány podélné ne celistvosti. Může být použit stejnosměrný, střídavý nebo impulsní proud. Jeho intenzita se pohybuje od stovek do několika tisíc ampér, napětí je od 15 voltů.

Magnetickou metodu lze použít k defektoskopické kontrole těch částí leteckých konstrukcí a dílů, které jsou vyrobeny z magnetických materiálů. Často se pomocí ní kontrolují určité části podvozku na vnitřní nespojitosti. Mezi tyto podvozkové části patří závěsy, podvozková noha, tlumiče, vzpěry atd.

3.1.4 Potenciometrická metoda

Potenciometrická metoda, je dalším druhem metod, kterými lze detekovat trhlinu. Její nejčastější použití je zaměřeno především na zjišťování skutečné hloubky trhliny, která byla předem detekována jinou defektoskopickou metodou. Princip této metody je uveden na obra. 3.9. Na povrch zkoušeného výrobku se přiloží sonda, která má čtyři dotykové hrotové elektrody. Tyto elektrody se nacházejí na jedné přímce.

Vnější elektrody E_1 a E_2 jsou napojeny na citlivý měřič napětí, který měří potenciál U_0 v povrchové vrstvě výrobku na vzdálenosti l_0 .

$$U_0 = R \cdot I = \frac{\rho \cdot l_0}{S} \cdot I$$

Kde: R -elektrický odpor materiálu mezi elektrodami N_1 a N_2

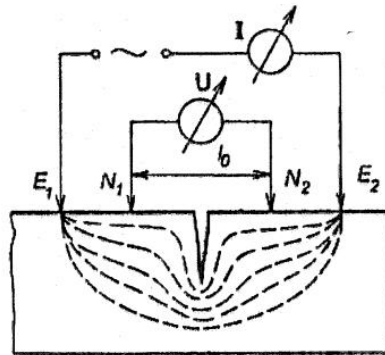
ρ - měrný elektrický odpor materiálu

I – protékající proud

S – průřez materiálu

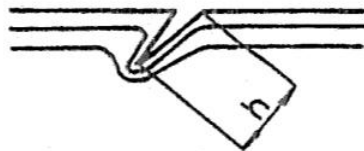
Při průchodu proudu mezi napájecími elektrodami vzniká na povrchu výrobku potenciálový spád. Na vnitřních kontaktech vzniká určité napětí, které měří a vyhodnocuje. Pokud se mezi vnitřními elektrodami N_1 a N_2 vyskytuje povrchová trhlina, prodlouží se dráha procházejícího proudu na úseku l_0 ,

vzroste odpor na tomto úseku a zvýší se i měřené napětí. Přírůstek měřeného napětí je potom měřítkem pro hloubku trhliny.



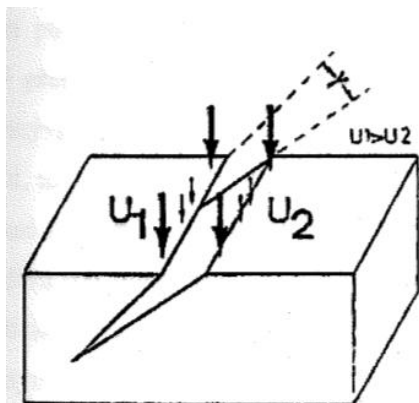
Obr. 3.10 Princip potenciometrické metody

U trhlin, které nejsou kolmé k povrchu se většinou naměří větší hloubka, než je skutečná. Proudové linie totiž trhlínu obcházejí, a proto se vlastně měří hloubka "h".

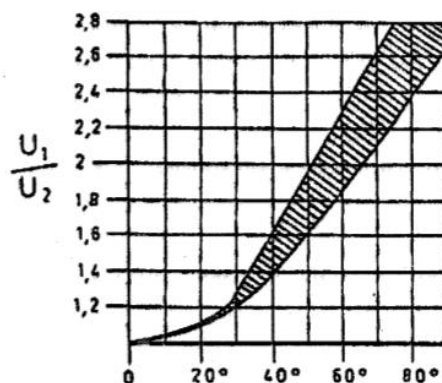


Obr. 3.11 Skloněná trhlina

Zda jde o trhlínu kolmou k povrchu nebo skloněnou se zjišťuje následujícím způsobem. Sonda se přiloží postupně na obě strany trhliny. Pokud je v obou případech měřené napětí stejné, tak je vada kolmá k povrchu. Je-li měřené napětí rozdílné, trhlina je skloněna směrem k většímu napětí (obr.3.12). výrobci měřích přístrojů většinou vytvářejí vlastní diagramy pro určení sklonu dané trhliny (obr.3.13).



Obr. 3.12 Měření sklonu trhliny



Obr. 3.13 Diagram pro určení sklonu trhliny

3.2. Metody pro zjišťování vnitřních vad

3.2.1 Utrazvuková metoda

Utrazvuková metoda patří v oblasti defektoskopie mezi jednu z nejvýznamnějších zkoušek pro odhalování necelistvostí ve zkoušeném výrobku. Princip tohoto zkoušení spočívá v průchodu ultrazvukových vln pružným homogenním prostředím – zkoušeným materiálem. Při průchodu materiálem dochází k zmenšování intenzity vlnění i amplitudy kmitů. V případě, že vlnění narazí na rozhraní dvou prostředí (např. materiál - vzduch), dochází k odrazu a lomu vlnění. Základem většiny měření je měření (vyhodnocování) ultrazvukové energie, která projde materiálem či se naopak vrátí do adrazu od nějakého rozhraní zpět.

Ultrazvuk je akustické vlnění o frekvenci vyšší než 20 kHz. Toto vlnění se v materiálu šíří v podobě elastických kmitů jeho elementů. Nastávají –li tyto kmitavé pohyby ve směru šíření vlnění, jde o vlny podélné. Pokud je směr pohybu elementů kolmý na směr postupu vlny, jedná se o vlnění příčné. Rychlost jeho šíření c_L pro podélné i c_T pro vlnění příčné je funkcí hustoty a elastických charakteristik materiálu:

$$c_{L,T} = \sqrt{K_{L,T} \cdot \frac{E}{s}} \quad K_L = \frac{1 - \mu}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)} \quad K_L = \frac{1}{2 \cdot (1 + \mu)}$$

Kde: E –modul pružnosti v tahu

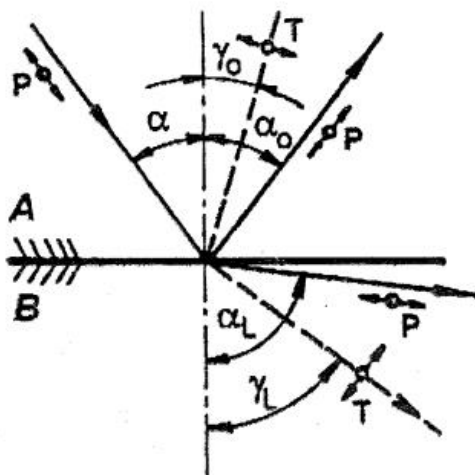
μ - Poissonovo číslo

s – hustota materiálu

Tyto materiálové konstanty tedy definují akustické vlastnosti materiálů.

V homogenním prostředí se ultrazvuk šíří přímočaře. Na rozhraní dvou prostředí o rozdílných charakteristikách dochází k následujícím jevům (obr. 3.14):

- Odraz: část vlnění se od rozhraní odráží zpět, podíl intenzit procházejícího a odraženého vlnění je dán poměrem akustických vlastností (hustoty a rychlosti šíření vlnění) obou prostředí.
- Lom: jestliže podpadá ultrazvuk na rozhraní šikmo, dochází nejen k odrazu ale i lomu procházejícího vlnění. Úhel lomu i odrazu je rozdílný pro vlnění podélné a vlnění příčné. Jejich hodnoty jsou dány indexem lomu, který vyjadřuje poměr rychlostí šíření vlnění v jednotlivých prostředích.
- Ohyb: nastává na překážce ve směru šíření ultrazvuk, jejíž poměr je srovnatelný nebo menší než je vlnová délka ultrazvuk.
- Útlum: intenzita ultrazvuku je v důsledku pohlcování energie vlnění a dříve popsaných jevů na rozhraních zeslabována. To se projeví poklesem amplitudy kmitů v čase. Velikost útlumu závisí na akustických vlastnostech prostředí a na jeho struktuře.

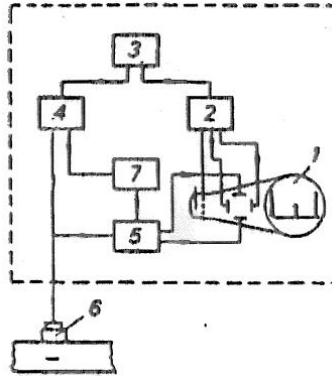


Obr. 3.14 Odraz a lom vlnění

(α - úhel podélného vlnění, dopadající na rozhraní A-B, α_o , α_L - úhly odrazu a lomu podélného vlnění (P), γ_o , γ_L - úhly odrazu a lomu příčného vlnění (T))

Přítomnost vady v kontrolovaném materiálu, tedy oblasti o odlišných vlastnostech, oddělené od základního pomocí vhodného zařízení poskytuje údaje o přítomnosti vady, ale často podávají informace i o její poloze a velikosti.

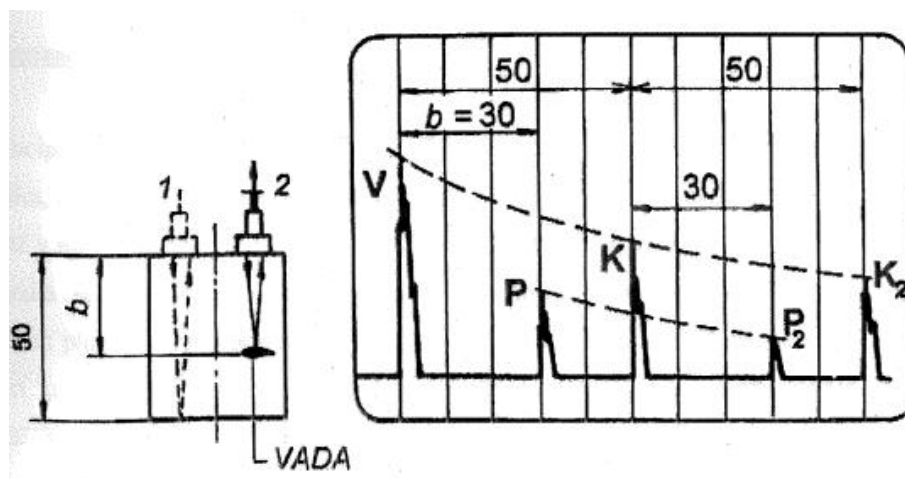
Pro kontrolu výrobků pomocí ultrazvukové metody se používají nejrozličnější druhy ultrazvukových přístrojů (defektoskopy). Ultrazvukové přístroje se skládají z těchto hlavních modulů (obr.3.15):



Obr. 3.15 Blokové schéma ultrazvukového přístroje

- 1.obrazovka monitoru (vodorovný směr – časová základna, svislý směr – úroveň vysílaných a detekovaných signálů)
- 2.generátor časové základny
- 3.synchronizátor (řídí souhlasné průběhy časové základny a vysílaných impulsů)
- 4.generátor impulsů
- 5.zesílovač
- 6.sonda
- 7.nastavovací jednotka (citlivost, rozlišení, atd.)

Vyhodnocování signálů probíhá na monitor (obr.3.16). Zobrazuje se zde vysílací echo V a koncové echo K. Přítomnost vady se projeví vyvoláním poruchového echa P, jehož poloha vůči vysílacímu a koncovému echu určuje vzdálenost vady od povrchu zkoušeného předmětu. Na obrazovce monitoru se podle použité metody mohou vyskytnout i další echa P_2, K_2 (násobné odrazy).



Obr.3.16 Indikace vad na monitor
(V- vysílací echo, P- poruchové echo, K- koncové echo, P_2, K_2 - násobné odrazy)

Při zjišťování necelistvostí materiálu za pomoci ultrazvuku se používají následující metody:

- Rezonanční
- Průchodová
- Odrazová
- Impedanční
- Metoda akustické emise
- Metoda zviditelnění vad

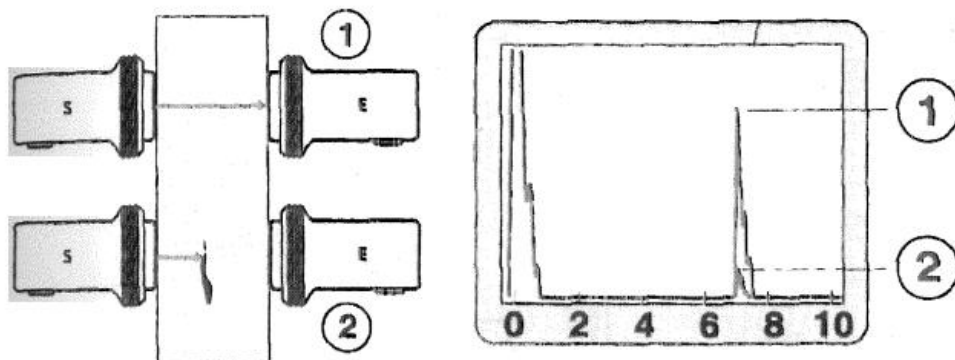
Defektoskopickou kontrolu pomocí ultrazvuku lze použít především pro zjišťování vnitřních vad. Tyto vady lze zjišťovat ve všech materiálech, které letecká konstrukce obsahuje.

3.2.1.1 Rezonanční metoda

Principem rezonanční metoda je jev, při kterém se mění frekvence ultrazvukových vln až do okamžiku, kdy tloušťka zkoušeného materiálu je rovna celému násobku jedné poloviny vlnové délky. Poté v materiálu vzniká stojatá vlna, která se registruje přístrojem. Svazek ultrazvukových vln se vysílá spojitě nebo ho lze vysílat také impulsně. Metoda je vhodná pro kontrolu rovnoběžných ploch s tloušťkami stěn od 0.1 do 100 mm. Zjišťují se především vady rovnoběžné s povrchem kontrolovaného předmětu. Jakákoliv změna tloušťky nebo přítomnost necelistvosti rovnoběžné s povrchem potom vyvolá vypadnutí rezonanční vlny z rezonance, které je registrováno přístrojem. Dále se může použít pro měření tloušťky daného materiálu. Pomocí této metody ovšem nelze zjistit velikost ani hloubku nalezené vady.

3.2.1.2 Průchodová metoda

Tato metoda je založena na principu měření ultrazvukové energie, která prošla zkoušeným předmětem (obr.3.17). sonda vysílá do zkoušeného materiálu ultrazvukové vlny, které jsou na druhé straně zachytávány přijímací sondou.



Obr.3.17 Princip průchodové metody

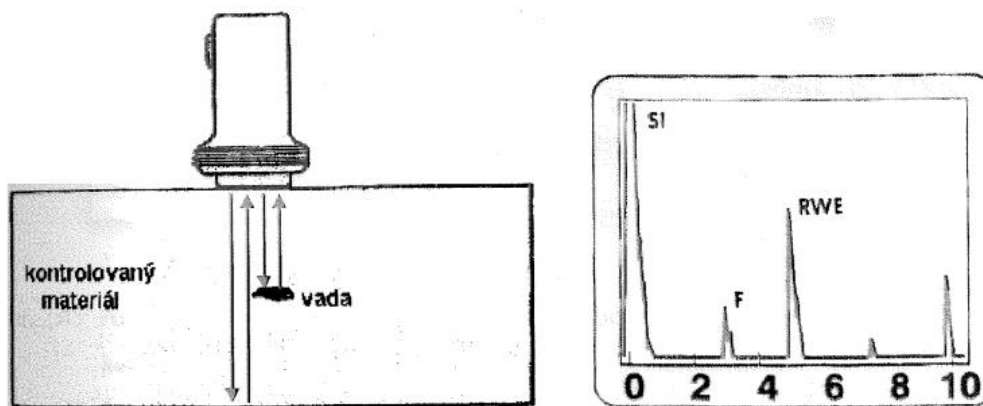
(S- vysílací sonda, E- přijímací sonda, 1- materiál bez vady, 2- vada v materiálu)

Signál je poté veden do zařízení, kde se registruje rozdíl akustické energie. Ultrazvukové svazky jsou zde použity spojitě i impulsní s podélnými vlnami. Při zkoušení je zapotřebí zabezpečit přístup k oběma stranám zkoušeného povrchu a zajistit souosnost vysílací a přijímací sondy měřicího přístroje. Metoda se používá pro zjišťování vad v součásti s rovnoběžnými rovinnými nebo zakřivenými plochami, které jsou přístupné z obou stran. Výhodou průchodové metody je její jednoduchost a možnost využití jednoduchých měřicích přístrojů.

Bohužel určitou nevýhodou je poměrně nízká citlivost, která je navíc ovlivněna ohybem ultrazvukových vln na vadách v závislosti na zkoušené tloušťce materiálu. Taktéž pomocí ní nelze zjistit hloubku vady. Získaný údaj o velikosti vady bývá dosi často velmi zkreslený, a proto se na něj nelze v mnoha případech spoléhat.

3.2.1.3 Odrazová metoda

Odrazová metoda je založena na odrazu ultrazvukových vln na rozhraní dvou prostředí (obr. 3.18). Ultrazvukový svazek může být vyslán spojitě nebo impulsně. Princip je obdobný jako u průchodové metody s tím rozdílem, že přijímací sondou jsou registrovány ultrazvukové vlny odražené od protější stěny nebo od vady materiálu. Při vyhodnocování je zapotřebí počítat s dvojnásobnou délkou dráhy ultrazvuku. Metoda umožňuje zkoušení výrobků nebo předmětů, ke kterým je přístup pouze z jedné strany.



Obr. 3.18 Princip odrazové metody (SI- vysílací impuls, F- vadové echo, RWE- koncové echo)

Použití impulsního svazku ultrazvukových vln přináší více informací o zkoušeném výrobku. Registruje se zde nejen doba průchodu ultrazvukového impulsu, ale také úbytek jeho akustické energie. Pomocí těchto údajů lze potom zjistit nejenom přítomnost vady ve zkoušeném materiálu, ale také její vzdálenost od povrchu do určité míry lze také vyhodnotit její velikost a tvar. Může být taktéž použita k určování fyzikálních charakteristik materiálů (z měření rychlosti šíření vln lze stanovit modul pružnosti v tahu, ve smyku a Poissonovo číslo) nebo k posuzování struktury materiálu. Vzhledem k tomu, že se pomocí

této metody získají veškeré základní informace o případné necelistvosti nacházející se ve zkoušené součásti, je tato metoda velice využívána při defektoskopických zkouškách.

Použitím spojitého svazku ultrazvukových vln dochází k snížení citlivosti detekce vad ve výrobku. Díky možnosti kontroly součástí pouze z jedné strany se přesto hojně používá.

Metoda je uspořádána buďto jako jednosondová, kde sonda pracuje jako vysílač i přijímač nebo jako dvousondová, kde vysílací a přijímací sonda je samostatná nebo jsou zabudované do společného krytu. U jednosondové modifikace při použití přímé sondy nelze zjistit vadu v tzv. mrtvém pásmu (blízko pod zkoušeným povrchem), protože impuls odražený od vady dopadá na sondu ještě v době vysílání a nemůže být proto registrován. Pro zjištění povrchových vad je potom vhodné použít úhlovou sondu a volit podmínky zkoušení vyvolávající vznik povrchového vlnění.

3.2.1.4 Impedační metoda (odporová)

Metoda je založena na změně velikosti akustické impedance (akustický odpor) v místě vady. Použití metody je vhodné pro zjišťování vad přítomných v materiálech o malých tloušťkách.

3.2.1.5 Metoda akustické emise

Akustická emise je zvláštní metodou nedestruktivní kontroly materiálu. Je zapotřebí, aby byl zkoušený materiál tzv. aktivní, to znamená, aby byl určitým způsobem namáhán. Pojmem skustická emise se označuje fyzikální jev, při němž pozorujeme akustické signály vysílané mechanicky nebo tepelně namáhaným tělesem.

Principem této metody je registrace ultrazvukových vln, které vznikají v materiálu uvolněním energie při přechodu z elastické do plastické deformace. Lze je také vznikat v materiálu uvolněním energie při přechodu z elastické do plastické deformace. Lze je také registrovat při vzniku a šíření trhlin v materiálu po dobu jeho namáhání.

Frekvenční i amplitudované pásmo akustické emise je rozsáhlé od jednotek Hz (seismická měření) po vysoké ultrazvukové frekvence.

Snímače akustické emise převádějí svazky vln akustické emise na elektrické signály. Jsou to obvykle keramické piezoelektrické snímače, přicházející ze snímače jsou zesíleny, filtrovány a dále vyhodnocovány příslušným zařízením.

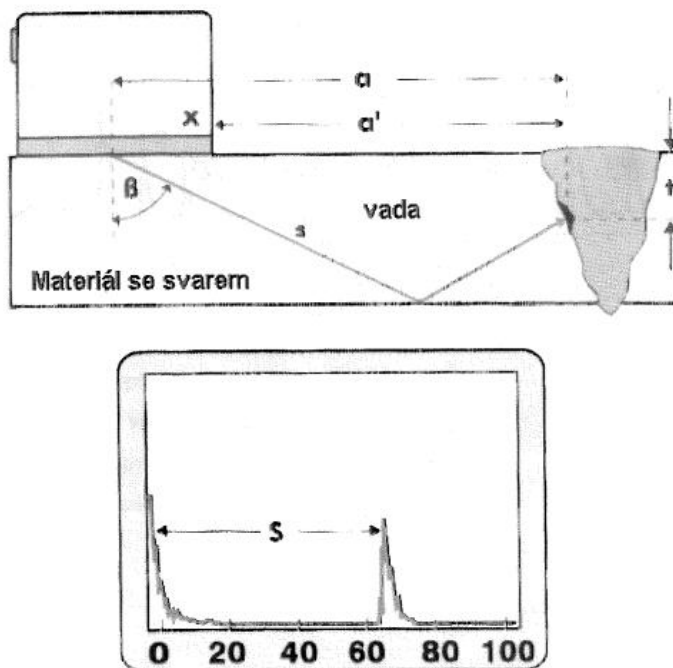
Akustická emise je nedestruktivní metodou, to znamená, že neovlivňuje měřený objekt a podává souhrnné informace o momentálním dynamickém stavu materiálu, což je její nesporná výhoda. Na druhé straně má také své nevýhody. Mezi ty hlavní patří doposud travající neobjasněnost způsobu vzniku emisních balíků vln a tedy nemožnost jednoznačné interpretace měření. Další nevýhodou je příliš malá energie mnohých akustických pulsů. Čímž tyto pulsy mnohdy zanikají v šumovém pozadí detektoru. Metoda je velmi náročná na přístrojové vybavení použité ke zkoušce.

Metoda akustické emise se dnes hodně používá v leteckých výzkumných ústavech pro určení vzniku a rozšiřování trhlin, pro ověření pevnostních vlastností materiálu, změnu poddajnosti, k odhalování tvorby

plastické zóny před prasknutím, vzniku únavy, koroze, tečení, rázového lomu apod.

Ultrazvukem se zkoušejí nejrůznější skupiny součástí a spojů. Metoda je velmi přizpůsobivá pro řešení různých úloh. Pro jednotlivé skupiny jsou stanoveny technologie provádění daných zkoušek. Jsou to například postupy pro roviné zkoušení, které je nejjednodušší. Další postupy jsou pro zkoušení výkovků a vývalků, odlitků, plechů, válcových ploch, kulatých ploch, trubek a svarů.

Dodržením předepsaných technologií zkoušení jednotlivých druhů součástí ultrazvukem se dosahuje velmi dobrých výsledků, při odhalování nejrůznějších vad v materiálu. Na obr.3.19 je znázorněn princip kontroly svaru úhlovou sondou.



Obr. 3.19 Princip kontroly svaru pomocí úhlové sondy
(s-dráha svazku, a-projekční, a'-zkrácená vzdálenost, t'-zdánlivá hloubka, t-skutečná hloubka, d-tloušťka materiálu)

Zkoušené součásti mohou být vyrobeny z litiny, oceli, plastů a dalších a materiálů. Ultrazvukovou metodou lze také měřit i tloušťku materiálu.

3.2.2 Prozařovací metoda

Zkoušky materiálu prozařováním jsou nedílnou součástí nedestruktivních zkušebních metod. Principem, na kterém jsou založeny tyto zkoušky, je prozařování zkoušeného materiálu zářením s velmi krátkou vlnovou délkou (RTG: $\lambda < 10^{-9}$ m, γ : $\lambda < 10^{-12}$ m), jenž má schopnost pronikat tuhými látkami. Při průchodu různými oblastmi zkoušeného materiálu dochází k rozptylu, odrazu a lomu procházejícího záření na částicích hmoty a na

rozhraních oblastí o rozdílné hustotě a vzniká tak rozdíl intenzity toku částic mezi místem s výskytem vady a místem bez vady.

Pro intenzitu záření po průchodu tělesem (I) o tloušťce (s) platí :

$$I = I_0 \cdot e^{-\chi \cdot s}$$

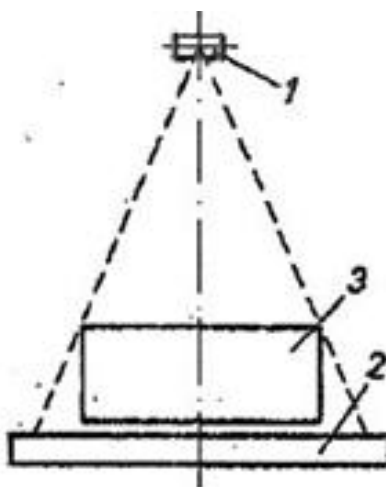
Kde: I –intenzita záření po průchodu tělesem

I_0 –původní intenzita záření

s – tloušťka tělesa

χ –lineární koeficient zeslabení

Rozdíl intenzity procházejícího záření potom způsobuje detekci přítomné vady na registračním zařízení



Obr. 3.20. Základní schéma prozařovací metody

1-zdroj záření

2- detektor záření

3-zkoušený předmět

Prozařovací metoda se rozděluje podle způsobu registrace záření, které prošlo kontrolovaným materiálem na tyto základní zkoušky:

- **Radiografické:** prošlým zářením je exponován filmový zpravidla negativní materiál, umístěný ve světlotěsné kazetě (fólii).
- **Radioskopické:** do směru prošlého záření se umístí fluorescenční štít, na kterém se vytvoří obraz prozařovaného předmětu. Skryté vady se zobrazí jako jasnější (více fluoreskující) místa.

Při kontrolách letecké techniky se uplatňuje také prozařovací defektoskopická metoda. Z principu dané metody plyne, že jí lze použít kontrolu jakéhokoliv materiálu, který letecká konstrukce obsahuje. Je vhodná pro zjišťování vnitřních, prostorových vad materiálu.

Pro jednotlivé druhy údržby a oprav používané letecké techniky jsou předepsány jednotlivé druhy defektoskopických kontrol. Pokud se nějakou defektoskopickou metodou zjistí výskyt určitého typu vady na letecké technice (např. vizuální prohlídka), je pro ověření výskytu vady použita dané vady. Pokud i tato zkouška potvrdí vady v materiálu, daný díl se demontuje a cestou výrobního závodu se reklamuje nebo odešle na opravu.

4.Závěr

Tato práce je shrnutím dosavadních znalostí dané problematiky a zhodnocením aktuálního stavu v procesu tvorby plánu údržby dopravního letounu . Jsou v ní uvedeny požadavky evropských předpisů pro údržbu letadel vydávaných úřadem EASA.

Práce je zaměřena i na nedestruktivní metody kontroly, které se používají nebo mohou být použity při provozu, údržbě a opravách letecké techniky. Defektoskopie představuje pro letectví jednu z velmi významných oblastí, díky níž může být provozování letecké techniky efektivnější, spolehlivější a bezpečnější.

5.Seznam použitých zdrojů

- [1] KRÁL, Miroslav. Provoz a údržba letecké techniky. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1985. Skripta.
- [2] KRÁL, Miroslav. Provoz a údržba letecké techniky II. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1987. Skripta.
- [3] FRIEND, C.H. Maintenance Management. Longman Scientific and Technical. 1992.
- [4] Nařízení Komise č. 2042/2003 (předpisy pro údržbu EASA)
- [5] Niebel, Benjamin W.:Engineering Maintenance Management Industrial Engineering, 1994
- [6] Harry A. Kinnison: Aviation maintenance management, 2004.

6. Seznam použitých obrázků

- Obr. 2.1 Rozdělení metod údržby
- Obr. 2.2 Schéma evropské legislativy a základních dokumentů EASA
- Obr. 2.3 Jednoduchý logický diagram pro údržbářské úkoly součástí systémů a pohonných jednotek
- Obr. 3.1 Pevný endoskop
- Obr. 3.2 Ohebný endoskop
- Obr. 3.3 Schéma videoskopu
- Obr. 3.4 Očištěný povrch výrobku s trhlinou
- Obr. 3.5 Nanesení detekční kapaliny na povrch výrobku
- Obr. 3.6 Odstranění přebytečné detekční kapaliny
- Obr. 3.7 Schéma pólového magnetování jhem
- Obr. 3.8 Schéma podélného cívkové magnetování
- Obr. 3.9 Schéma magnetování průchodem proudu
- Obr. 3.10 Princip potenciometrické metody
- Obr. 3.11 Skloněná trhlina
- Obr. 3.12 Měření sklonu trhliny
- Obr. 3.13 Diagram pro určení sklonu trhliny
- Obr. 3.14 Odraz a lom vlnění
- Obr. 3.15 Blokové schéma ultrazvukového přístroje
- Obr. 3.16 Indikace vad na monitor

Obr. 3.17 Princip průchodové metody
 Obr. 3.18 Princip odrazové metody
 Obr. 3.19 Princip kontroly svaru pomocí úhlové sondy
 Obr. 3.20. Základní schéma prozařovací metody

7. Seznam použitých zkratk a symbolů

E	[Pa]	modul pružnosti vtahu
l	[mm]	zdálenost
h	[mm]	hloubka
I	[A]	protékající proud
R	[Ω]	elektrický odpor
s	[kg.m ⁻³]	hustota materiálu
S	[mm ²]	průřez materiálu
U	[V]	napětí
U _o	[V]	elektrický potenciál
α	[°]	úhel podélného vlnění
γ	[°]	úhel příčného vlnění
μ	[I]	poissonovo číslo
ρ	[μΩm]	měrný elektrický odpor
Φ	[Wb]	magnetický tok